بسم الله الرحمن الرحيم

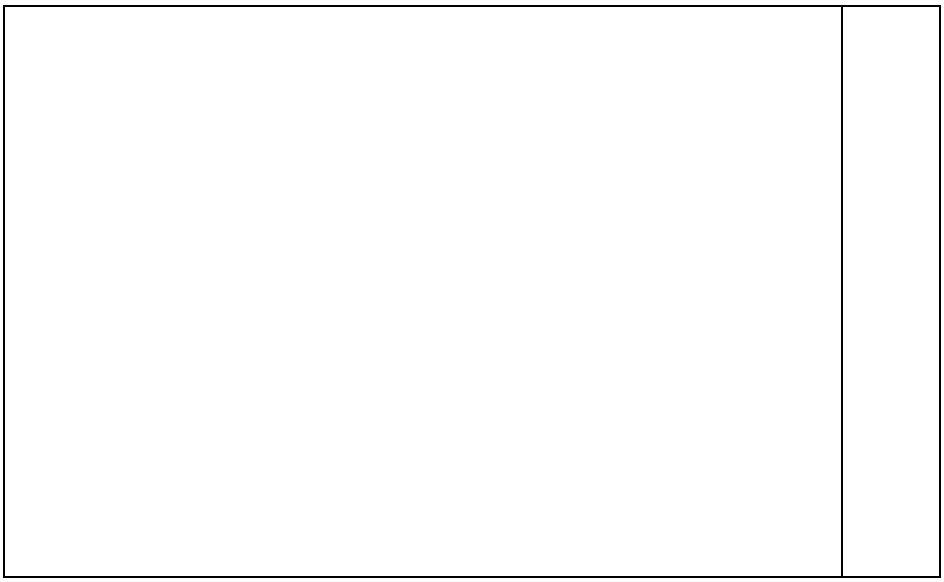
غشاهای پلیمری: کاربرد، روش‌های ساخت و اصلاح آنها

دکتر احمد رحیم‌پور (دانشیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل)

دکتر سید سیاوش مدائنی (استاد دانشگاه رازی کرمانشاه)

مهندس کسری پیرزاده (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)

انتشارات دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل



- **عنوان : غشاهای پلیمری: کاربرد، روش‌های ساخت و اصلاح آنها**
- **مؤلف : احمد رحیم‌پور، سید سیاوش مدائنی، کسری پیرزاده**
- **ویراستار : محسن قربانی**
- **ناشر : انتشارات دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل**
- **تاریخ انتشار : تابستان ۱۳۹۴ (چاپ اول)**
- **نوبت چاپ : اول**
- **تعداد صفحات : ۳۲۲**
- **تیراژ : ۱۰۰۰ نسخه**
- **قیمت : ؟؟؟؟؟؟؟ ریال**
- **حروفچینی و صفحه‌آرائی: تایپ نگارش دانشگاه صنعتی نوشیروانی (بابل)**
- **لیتوگرافی، چاپ و صحافی : مؤسسه چاپ ؟؟؟؟**

«کلیه حقوق برای دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل محفوظ است.»

بابل- خیابان دکتر شریعتی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، حوزه معاونت پژوهشی،

شابک: ؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟ ISBN: ??????????

پیشگفتار

در طول دو دهه گذشته، فناوری غشایی به یک فناوری کارآمد و موثر تبدیل شده است که در گستره وسیعی از جداسازی‌ها اعم از فرایندهای صنعتی و کاربردهای زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فناوری غشایی برای اولین بار در طول سال‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ در تصفیه آب در فرایندهایی نظیر اسمز معکوس، اولترافیلتراسیون، دیالیز، الکترودیالیز و میکروفیلتراسیون مورد توجه قرار گرفته است. در طول دهه ۸۰ میلادی، فناوری غشایی در زمینه جداسازی و تخلیص گازها چه در مقیاس صنعتی و چه در مقیاس غیر صنعتی مورد استفاده فراوانی قرار گرفت. آنچه که موجب موفقیت روزافزون فناوری غشایی شده است، کشف روش مناسب و به صرفه در ساخت غشاء و به دنبال آن گسترش غشاهای پلیمری با عملکرد بالا بوده است.

واژه "غشا" یک واژه کلیدی و گسترده است که طیف وسیعی از ساختارها و مواد گوناگونی را با خواص متنوع در بر می‌گیرد. این مسئله در مورد فرایندهای غشایی نیز صادق می‌باشد که می‌توانند در نحوه عملکرد کاملا متفاوت باشند. با این حال، غشا و فرایندهای غشایی در یک ویژگی مشترک می‌باشند؛ به این صورت که می‌توانند در جداسازی مخلوطهای مولکولی مختلف به طور موثر و اقتصادی در دمای محیط و بعضاً نسبتاً پایین عملیات کنند بدون این که محصولات جانبی سمی و مضر تولید کنند.

در اوایل ظهور دانش و فناوری غشا، تحقیقات عمدتا معطوف به توضیح مکانیزم انتقال جرم و توسعه ساختار غشا به وسیله خواص مخصوص انتقال جرم بوده است. اساس بسیاری از فرایندهای غشایی و روش ساخت غشاها در بسیاری از مجلات علمی و در بسیاری از کتاب‌ها با جزئیات فراوان به چاپ رسیده است. با این حال، کاربرد غشا و فرایندهای غشایی در مقالات، کمتر به تفصیل بیان شده است. تنها تعداد اندکی از کاربردهای فرایندهای غشایی نظیر اسمز معکوس، میکرو- و اولترافیلتراسیون، جداسازی گازی و تراوش تبخیری در کتاب‌های درسی و کتب مرجع مطرح گردیده است. علاوه بر این، مطالعات کاربردی غشا که اغلب در شرکت‌های صنعتی انجام می‌پذیرد، یا به صورت اختراع ثبت می‌شود یا تحت هیچ شرایطی چاپ نمی‌گردد. بنابراین، دست‌یابی به یک بررسی اجمالی منطقی در زمینه کاربردهای غشا بدون مطالعه مجلات و ثبت اختراعات گوناگون بسیار دشوار خواهد بود.

بر همین اساس در کتاب حاضر تلاش شده است تا مطالب و اطلاعات کاربردی و مفیدی در ارتباط با غشاهای پلیمری و کاربردهایشان ارائه گردد. در همین راستا، این کتاب در شش فصل تدوین گشته است که می‌توان به مقدماتی در ارتباط با غشا و فرایندهای غشایی، روش‌های ساخت غشاهای پلیمری، ارزیابی غشاهای ساخته شده و اصلاح غشاهای پلیمری که شامل مطالعات موردی در ارتباط با بهبود ساختار غشا می‌باشد، اشاره نمود. همچنین مطالبی در رابطه با غشاهای مرکب و همچنین غشاهای مقاوم در برابر حلال نیز به منظور تکمیل مباحث بیان گردیده است.

بدیهی است در نگارش کتاب تلاش بسیاری صورت گرفته، لیکن این مجموعه خالی از اشکال نبوده و قطعاً انتقادها و پیشنهادهای خوانندگان گرامی نقش به سزایی در بهبود آن خواهد داشت.

دکتر احمد رحیم‌پور
دکتر سید سیاوش مدائنی
مهندس کسری پیرزاده

فهرست مطالب

فصل اول: غشاها و فرآیندهای غشایی ۱۵

۱-۱- مقدمه ۱۵

۱-۲- فرایندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه ۱۷

۱-۳- مواد متداول برای ساخت غشا ۱۸

۱-۴- ساختار غشاها.....۱۹

۱-۴-۱- ساختار غشاها از لحاظ وجود یا عدم وجود حفره ۱۹

۱-۴-۱-۱- غشاهای متخلخل ۲۱

۱-۴-۱-۲- غشاهای غیر متخلخل.....۲۱

۱-۴-۱-۳- غشاهای حامل ۲۲

۱-۴-۲- ساختار غشاها از دیدگاه تقارن ساختاری.....۲۲

۱-۴-۲-۱- غشاهای متقارن متخلخل ۲۴

۱-۴-۲-۲- غشاهای متقارن غیر متخلخل.....۲۴

۱-۴-۲-۳- غشاهای متقارن باردار الکتریکی ۲۶

۱-۴-۲-۴- غشاهای نامتقارن ۲۷

۱-۵- کاربرد غشاها در فرآیندهای مختلف.....۲۸

۱-۵-۱- میکروفیلتراسیون ۲۸

۱-۵-۱-۱- روش‌های اندازه‌گیری اندازه حفره‌ها در غشاهای میکروفیلتراسیون ۳۱

۱-۵-۱-۱-۱- استفاده از آزمایش چالش.....۳۱

۱-۵-۱-۱-۲- استفاده از آزمایش نقطه حباب ۳۲

۱-۵-۱-۱-۳- آزمایش نفوذ پذیری ۳۵

۱-۵-۱-۲- کاربرد غشاهای میکروفیلتراسیون در فیلتراسیون انتها بسته.....۳۶

۱-۵-۱-۲-۱- استرلیزاسیون و حذف ذرات در صنایع دارویی ۳۶

۱-۵-۱-۲-۲- حذف ذرات در صنایع نیروگاه هسته ای ۳۶

۱-۵-۱-۳- کاربرد غشاهای میکروفیلتراسیون در فیلتراسیون جریان عرضی ۳۷

۱-۵-۱-۳-۱- حذف فلزات سنگین ۳۷

۱-۵-۱-۳-۲- جدا کردن پلاسما از خون ۳۷

۱-۵-۱-۳-۳- کشت پیوسته سلول ۳۷
۱-۵-۱-۳-۴- پیش تصفیه برای اولترافیلتراسیون ۳۸
۱-۵-۲- اولترافیلتراسیون ۳۹
۱-۵-۲-۱- کاربردهای غشای اولترافیلتراسیون ۴۲
۱-۵-۲-۱-۱- تولید آب خالص در صنایع نیمه هادی ۴۲
۱-۵-۲-۱-۲- تخلیص آب مورد استفاده در صنایع دارویی ۴۲
۱-۵-۲-۱-۳- رنگ الکتروپوششی ۴۲
۱-۵-۲-۱-۴- جداسازی روغن – آب ۴۳
۱-۵-۲-۱-۵- عاری سازی نفت خام از آلاینده ها ۴۴
۱-۵-۲-۱-۶- تصفیه پساب خمیر کاغذ ۴۴
۱-۵-۲-۱-۷- احیای پروتئین آب پنیر ۴۵
۱-۵-۲-۱-۸- تغلیظ شیر ۴۶
۱-۵-۲-۱-۹- زلالسازی آب میوه ۴۶
۱-۵-۲-۱-۱۰- تغلیظ و تخلیص آنزیم ۴۶
۱-۵-۳- اسمز معکوس ۴۷
۱-۵-۴- نانوفیلتراسیون ۵۰
۱-۵-۴-۱- مکانیزم انتقال در غشاهای نانوفیلتراسیون ۵۰
۱-۵-۵- الکترو دیالیز ۵۲
۱-۵-۵-۱- کاربردهای الکترودیالیز ۵۵
۱-۵-۶- جداسازی گاز ۵۵
۱-۵-۶-۱- غشاهای مورد استفاده در جداسازی گازی ۶۰
۱-۵-۶-۱-۱- غشای فلزی ۶۰
۱-۵-۶-۱-۲- غشای پلیمری ۶۱
۱-۵-۶-۱-۳- غشاهای سرامیکی و زئولیتی ۶۲
۱-۵-۶-۲- نمونه ای از کاربردهای جداسازی گازی ۶۲
۱-۵-۶-۲-۱- جداسازی هیدروژن ۶۲
۱-۵-۶-۲-۲- جداسازی گاز طبیعی ۶۳
۱-۵-۷- تراوش تبخیری ۶۴

۱-۵-۸- تقطیر غشایی ۶۸
۱-۶- مدول های غشایی ۷۴
۱- ۶-۱- مدول‌های صفحه و قاب ۷۵
۱-۶-۲- مدول‌های لوله‌ای ۷۶
۱-۶-۳- مدول‌های مارپیچی ۷۸
۱-۶-۴- مدول‌های الیاف میان تهی ۸۳
۱-۶-۵- مدول‌های چرخشی و لغزشی ۸۶
۱-۷- انتخاب مدول ۸۷
فصل دوم: ساخت غشاها و روش‌های اصلاح آنها ۹۱
۲-۱- روش‌های مختلف ساخت غشاهای پلیمری ۹۱
۲-۱-۱- روش سخت شدن حرارتی ۹۱
۲-۱-۲- روش کششی ۹۳
۲-۱-۳- روش حک اثر ۹۴
۲-۱-۴- استخراج ۹۷
۲-۱-۵- پوشش‌دهی ۹۹
۲-۱-۶- روش تغییر فاز ۹۹
۲-۲- ساخت غشا با استفاده از رسوب گذاری غوطه‌وری ۱۰۱
۲-۲-۱- ساخت غشاهای تخت با استفاده از رسوب گذاری غوطه‌وری ۱۰۴
۲-۲-۲- ساخت غشاهای لوله‌ای با روش تغییر فاز ۱۰۶
۲-۳- تئوری تغییر فازی و تشکیل غشا ۱۱۰
۲-۳-۱- مکانیسم جدایش فازی در روش رسوب‌گذاری غوطه‌وری ۱۱۱
۲-۴- تاثیر پارامترهای مختلف بر روی ساختار غشا در فرآیند تغییر فاز ۱۱۶
۲-۴-۱- انتخاب سیستم حلال- غیرحلال ۱۱۷
۲-۴-۲- نوع پلیمر ۱۲۴
۲-۴-۳- غلظت پلیمر ۱۲۵
۲-۴-۴- ترکیب درصد حمام انعقاد ۱۲۷
۲-۴-۵- ترکیب درصد محلول پلیمری ۱۲۹
فصل سوم: روش‌های ارزیابی غشاها ۱۳۳

۳-۱- تجهیزات لازم بررسی ساختار و عملکرد غشاها ۱۳۳
۳-۱-۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۱۳۳
۳-۱-۲- میکروسکوپ الکترونی اتمی (AFM) ۱۳۴
۳-۱-۳- اندازه‌گیری بار سطح غشا با استفاده از زتا پتانسیل ۱۳۷
۳-۱-۴- اندازه‌گیری زاویه تماس ۱۳۸
۳-۱-۵- آنالیز طیف سنجی FTIR-ATR ۱۳۹
۳-۱-۶-گرماسنجی پویشی دیفرانسیلی ۱۳۹
۳-۱-۷-آنالیز حرارتی ثقلی ۱۴۰
۳-۱-۸- اندازه‌گیری خواص مکانیکی غشاها ۱۴۰
۳-۱-۹- روش بررسی عملکرد غشاها از لحاظ فلاکس و پسدهی ۱۴۰
۳-۱-۱۰- سیستم انتها بسته ۱۴۱
۳-۱-۱۱- روش ارزیابی و آنالیز گرفتگی ۱۴۲
فصل چهارم: اصلاح ساختار غشا ۱۴۵
۴-۱- روش‌های بهبود ساختار غشاها ۱۴۵
۴-۱-۱-افزایش آب‌دوستی سطح غشا ۱۴۵
۴-۱-۲-مقاوم نمودن ساختار غشا در برابر حلال‌ها ۱۴۶
۴-۱-۳- تغییرات سطحی غشاها ۱۴۷
۴-۱-۴- باردار نمودن سطح غشاها ۱۴۷
۴-۱-۵- ایجاد حساسیت نسبت به دما ۱۴۸
۴-۱-۶-روش‌های آب‌دوست کردن سطح ۱۴۸
۴-۱-۷- فلورینه کردن سطح غشا ۱۵۰
۴-۲-کاربرد سورفکتنت‌ها در بهبود عملکرد و ساختار غشاهای نانوحفرهٔپلی
اترسولفونی ۱۵۱
۴-۲-۱- مقدمه ۱۵۱
۴-۲-۲- اثر SDS به عنوان سورفکتنت آنیونی روی ساختار و عملکرد غشاهای
PES ۱۵۳
۴-۲-۳-اثر CTAB به عنوان سورفکتنت کاتیونی روی ساختار و عملکرد غشاهای
PES ۱۵۶

۴-۲-۴- اثر Triton X-100 به عنوان سورفکتنت خنثی روی ساختار و عملکرد غشاهای PES ۱۵۹
۴-۲-۵- مقایسه بین اثر سه نوع سورفکتنت SDS، CTAB و Triton X-100 ..... ۱۶۱
۴-۳-بهینه‌سازی و اصلاح ساختار غشاهای پلی‌اترسولفون و پلی‌ویلینیدن‌فلوراید با استفاده از عملیات حرارتی ۱۶۸
۴-۳-۱- مقدمه ۱۶۸
۴-۳-۱-۱- روش عملیات حرارتی برای اصلاح ساختار غشاها ۱۶۹
۴-۳-۱-۲- ساختار غشاهای پلی‌اترسولفونی و پلی‌ویلینیدن‌فلورایدی خام ۱۶۹
۴-۳-۲- عملیات حرارتی غشاهای پلی‌اترسولفونی ۱۷۲
۴-۳-۲-۱-عملیات حرارتی غشاهای پلی‌اترسولفونی با استفاده از هوای داغ ۱۷۲
۴-۳-۲-۲-عملیات حرارتی غشاهای پلی‌اترسولفونی با استفاده از آب داغ ۱۸۳
۴-۳-۳- عملیات حرارتی غشاهای پلی‌ویلینیدن فلوراید ۱۸۹
۴-۳-۳-۱- عملیات حرارتی غشاهای پلی‌ویلینیدن فلوراید با استفاده از هوای داغ .. ۱۸۹
۴-۳-۳-۲-عملیات حرارتی غشاهای پلی‌ویلینیدن فلوراید با استفاده از آب داغ..... ۱۹۳
۴-۴-سنتز پلیمر جدید پلی‌آمیدایمید و ترکیب آن با پلی‌اترسولفون جهت ساخت غشاهای نانوحفرهٔ بهینه با عملکرد بالا ۱۹۸
۴-۴-۱- مقدمه ۱۹۸
۴-۴-۲-سنتز پلی‌آمیدایمید ۱۹۹
۴-۴-۳- بررسی تغییر در زاویه تماس سطح غشا ۲۰۱
۴-۴-۴- مطالعه ساختاری غشاهای ساخته شده با استفاده از SEM و AFM.... ۲۰۲
۴-۴-۵- ارزیابی عملکرد غشاها ۲۰۸
۴-۴-۶-آنالیز گرفتگی غشاهای ترکیبی پلی‌اترسولفون/ پلی‌آمیدایمید ۲۱۱
۴-۴-۷- خواص حرارتی غشاهای ترکیبی پلی‌اترسولفون/ پلی‌آمیدایمید ۲۱۲
۴-۴-۸- بررسی مقاومت مکانیکی غشاهای ترکیبی پلی‌اترسولفون/ پلی‌آمیدایمید .. ۲۱۴
۴-۵- ساخت غشاهای اولترافیلتراسیون نانو حفره ترکیبی پلی‌اترسولفون- سلولزاستات‌فتالات دارای خواص بهینه ۲۱۵
۴-۵-۱- مقدمه ۲۱۵

۴-۵-۲- انتخاب سازنده حفره ۲۱۶
۴-۵-۳- بررسی تغییر در زاویه تماس غشاها..... ۲۱۷
۴-۵-۴- بررسی ساختار و ساختار غشاهای ساخته شده با استفاده از SEM و AFM ۲۱۸
۴-۵-۴-۱-اثر ترکیب درصد پلی‌اترسولفون/ سلولزاستات‌فتالات ۲۱۸
۴-۵-۴-۲- اثر غلظت پلی‌وینیل‌پیرولیدون بر روی غشاهای ترکیبی پلی‌اترسولفون/ سلولزاستات‌فتالات ۲۲۴
۴-۵-۵- بررسی عملکرد غشاهای ترکیبی پلی‌اترسولفون/ سلولزاستات‌فتالات ۲۲۸
۴-۵-۵-۱- اثر ترکیب درصد پلی‌اترسولفون/ سلولزاستات‌فتالات در محلول قالبی .. ۲۲۸
۴-۵-۵-۲- اثر غلظت پلی‌وینیل‌پیرولیدون بر روی عملکرد غشاهای ترکیبی پلی‌اترسولفون/ سلولزاستات‌فتالات ۲۳۲
۴-۵-۵-۳- رفتار فلاکس و ارزیابی میزان گرفتگی غشاهای پلی‌اترسولفونی و ترکیبی پلی‌اترسولفون/ سلولزاستات..... ۲۳۳
۴-۶- بهینه‌سازی و اصلاح ساختار غشاهای پلی‌اترسولفون نانو حفره با استفاده از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2) و تشعشعات فرابنفش (UV)..... ۲۳۶
۴-۶-۱- مقدمه..... ۲۳۶
۴-۶-۲- روش نشاندن نانو ذرات TiO_2 در ساختار ویا سطح غشا پلی‌اترسولفونی و بهینه سازی آنها..... ۲۳۷
۴-۶-۳-بررسی اثر غلظت نانو ذرات TiO_2 در محلول قالبی بر روی عملکرد و ساختار غشا پلی‌اترسولفونی ۲۳۸
۴-۶-۴- خواص ضد گرفتگی غشاهای ترکیبی TiO_2- محبوس شده..... ۲۴۲
۴-۶-۵- عملکرد غشاهای TiO_2- محبوس شده که تحت تابش نور UV قرار گرفتند ۲۴۴
۴-۶-۶- خواص ضدگرفتگی غشاهای ترکیبی TiO_2- محبوس شده که تحت تابش نور UV قرار گرفتند ۲۴۸
۴-۶-۷- پوشش دادن سطح غشاهای پلی‌اترسولفون با استفاده از نانو ذرات TiO_2 و بررسی عملکرد و خواص ضد گرفتگی بعد از تابش با نور UV ۲۵۰

۴-۶-۸- تعیین شرایط بهینه برای ساخت غشا پلی‌اترسولفونی ترکیبی پوشش داده با نانو ذرات TiO_2 دارای عملکرد بالا ۲۵۵
۴-۷-اصلاح سطح غشاهای پلی‌ویلینیدن‌فلوراید با استفاده از پیوند زدن گروه‌های عاملی مونومرهای آب‌دوست توسط اشعه UV ۲۶۰
۴-۷-۱- مقدمه ۲۶۰
۴-۷-۲- روش اصلاح سطح غشاهای پلی‌ویلینیدن‌فلوراید در این مطالعه ۲۶۱
۴-۷-۲-۱- اصلاح سطح غشاهای پلی‌ویلینیدن‌فلوراید با استفاده از مونومرهای اکریلیکی ۲۶۲
۴-۷-۲-۲- اصلاح سطح غشاهای پلی‌ویلینیدن‌فلوراید با استفاده از مونومرهای آمینی ۲۶۶
۴-۷-۲-۳- اصلاح سطح غشاهای پلی‌ویلینیدن‌فلوراید با استفاده از بنزوفنون به عنوان آغازگر نوری و مونومرهای آب‌دوست ۲۷۰
فصل پنجم: غشاهای مرکب ۲۷۵
۵-۱- مقدمه ۲۷۵
۵-۲- روش‌های ساخت غشاهای مرکب ۲۷۶
۵-۲-۱- روش قالب‌گیری روی آب ۲۷۷
۵-۲-۲- پوشش یک لایه با استفاده از غوطه‌وری ۲۷۸
۵-۲-۳- پلیمریزاسیون در فصل مشترک ۲۸۵
۵-۲-۴- پوشش از طریق پلیمریزاسیون پلاسما ۲۸۸
۵-۳- برخی از غشاهای مرکب تجاری موجود در بازار و بررسی روش‌های ساخت آنها ۲۹۱
۵-۳-۱- غشای NS-۱۰۰ : غشاهای مرکبی با پایه پلی‌اتیلن‌ایمین ۲۹۱
۵-۳-۲- غشاهای PA- ۳۰۰ و RC- ۱۰۰ ..... ۲۹۲
۵-۳-۳- غشا NS- ۳۰۰، پلیمریزاسیون در فصل مشترک با آمین‌های منومری آلیفاتیک ۲۹۳
۵-۳-۴- NS- ۲۰۰: غشاهای مرکب با ترکیبات سولفوناتی ۲۹۴
فصل ششم: غشاهای نانوفیلتراسیون مقاوم در برابر حلال ۲۹۷
۶-۱- سوخت بیودیزل و جداسازی و تخلیص آن با استفاده از فرایندهای غشایی ۲۹۷
۶-۲- نانوفیلتراسیون ۳۰۳

۶-۳- انواع غشاهای نانوفیلتراسیون مقاوم در برابر حلال.....۳۰۶
مراجع ۳۰۷

فصل اول

غشاها و فرآیندهای غشایی

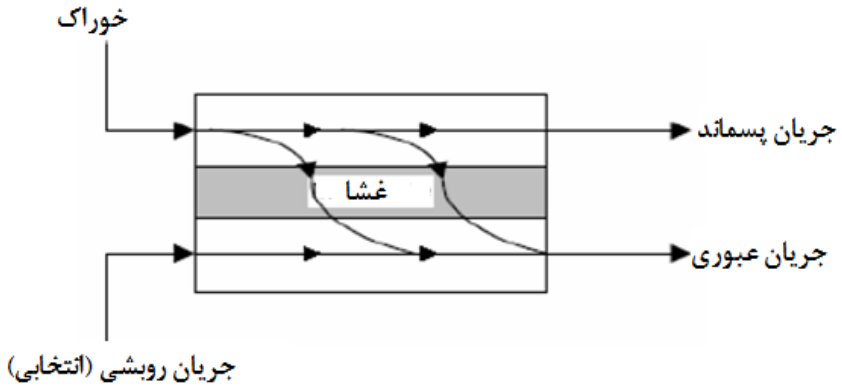
۱-۱- مقدمه

در حال حاضر غشاها جایگاه ویژه‌ای در صنایع جداسازی مختلف پیدا کرده‌اند و کاربردهای وسیعی در زمینه‌های گوناگون جداسازی اعم از محلول‌های مایع و گازهای مختلف یافته‌اند که از آن جمله می‌توان به کاربرد در صنایع غذایی و لبنی برای جداسازی پروتئین‌ها و تغلیظ شیر، صنایع شیمیایی، پالایشگاهی برای جداسازی گازها و داروسازی برای تخلیص فرآیندهای مختلف، نام برد. از اوایل دهه ۶۰ میلادی، در گسترهٔ وسیعی از فرآیندها و کاربردهای صنعتی از غشاهای پلیمری سنتز شده استفاده گردید. این دهه آغازی برای ورود این غشاها به صنایع مختلف بوده است. در آن زمان علت پذیرش و وارد شدن سریع غشاها در عرصه صنعت، توسعه سریع تولید مواد سازنده غشاها، ابداع روش‌های نوین تغییر ساختار غشاها و همچنین توسعه روش‌های تولید انبوه بوده است [۱].

غشا یک فاز نیمه تراوا است که در برابر عبور بعضی از ذرات به صورت انتخابی ممانعت ایجاد می‌کند و یا به عبارتی دیگر به‌طور انتخابی اجازه عبور ذرات را می‌دهد. فرآیندهای غشایی، فرآیندهایی می‌باشند که در آنها با استفاده از یک غشا، خوراکی که مخلوطی از دو یا چند جزء می‌باشد به اجزای متفاوتی تقسیم می‌گردد. در این حالت اساس جداسازی بر این اصل استوار است که یک یا تعداد بیشتری از اجزاء سریع‌تر از سایر اجزاء از این بستر عبور می‌نمایند. همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است خوراک توسط غشا به دو جریان شامل جریان پس ماند[1] (بخشی از خوراک که از غشا نگذشته است) و جریان عبوری[2] (بخشی از خوراک که از غشا عبور می‌نماید) تقسیم می‌گردد. جریان روبشی[3] که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، جریانی از یک

1-Retentate
2- Permeate
3- Sweep

سیال است که گاهی جهت کاهش غلظت اجزاء در سمت جریان عبوری و یا افزایش نیروی محرکه جداسازی اضافه گردیده که می‌تواند گاز یا مایع باشد.



شکل(۱-۱): طرحواره جداسازی اجزاء یک مخلوط توسط فرآیندهای غشایی

عملکرد یک غشا با دو فاکتور اصلی تعیین می‌شود که عبارتند از شار عبوری از غشا و انتخابگری[۱] یا پس‌دهی[۲] غشا. شار یا شدت تراوش پذیری[۳] عبارتست از مقدار حجمی (مولی یا جرمی) در واحد زمان که از واحد سطح غشا عبور می‌نماید. انتخابگری یا فاکتور جداسازی که در مورد مخلوطی از مایعات امتزاج پذیر یا گازها مطرح می‌گردد، به صورت نسبت تراوش پذیری اجزای مورد نظر تعریف می‌شود. به عنوان مثال در زمینه جداسازی هوا و خالص سازی اکسیژن، منظور از انتخابگری اکسیژن نسبت به نیتروژن $(\frac{O_2}{N_2})$ این است که غشا تا چه حد می‌تواند اکسیژن را از نیتروژن جدا کند [۲]. پس‌دهی نیز به صورت درصدی از جزء مورد نظر تعریف می‌شود که از غشا عبور نمی‌کند.

1- Selectivity
2- Rejection
3- Permeability

۱-۲- فرآیندهای غشایی براساس نیرو محرکه

غشاهای مورد استفاده در فرایند های جداسازی را می‌توان بر اساس نیرو محرکه‌ای که موجب تولید فاز عبوری از میان غشا می‌شود به گروه‌های زیر تقسیم بندی کرد:

۱- نیروی محرکه بر اساس اختلاف فشار:

- اسمز معکوس
- اولترافیلتراسیون
- میکروفیلتراسیون
- نانوفیلتراسیون
- جداسازی گاز
- تراوش تبخیری (تبخیر غشایی)

۲- نیرو محرکه بر اساس اختلاف دما:

- تقطیر غشایی

۳- نیرو محرکه بر اساس اختلاف غلظت:

- دیالیز
- استخراج غشایی

۴- نیرو محرکه بر اساس اختلاف پتانسیل الکتریکی:

- الکترودیالیز

انواع مختلف فرایندهای غشایی بر اساس نیرومحرکه و نوع خوراک و محصول تولیدی به طور کامل در جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

جدول (۱-۱): انواع مختلف فرآیندهای غشایی براساس نیرو محرکه

فرآیندهای غشایی	نیرو محرکه	خوراک	محصول
میکروفیلتراسیون MF	اختلاف فشار	مایع	مایع
اولترافیلتراسیون UF	اختلاف فشار	مایع	مایع
نانوفیلتراسیون NF	اختلاف فشار	مایع	مایع
اسمز معکوس RO	اختلاف فشار	مایع	مایع
جداسازی گاز GS	اختلاف فشار	گاز	گاز
تراوش تبخیری PV	اختلاف فشار	مایع	گاز
تقطیر غشایی MD	اختلاف دما	مایع	مایع
دیالیز D	اختلاف غلظت	مایع	مایع
الکترودیالیز ED	اختلاف بار الکتریکی	مایع	مایع

۱-۳- مواد متداول برای ساخت غشا

موادی که برای ساخت غشا مورد استفاده قرار می‌گیرند باید دارای خواص اصلی زیر باشند تا بتوانند نقش جداسازی خود را به خوبی ایفا کنند:

۱- مقاومت شیمیایی در برابر خوراک و یا موادی که جهت تمیز کردن غشاها از آنها استفاده می‌شود

۲- پایداری مکانیکی

۳- پایداری حرارتی

۴- تراوش پذیری و همچنین انتخابگری بالا

به طور کلی موادی که برای ساخت غشا مورد استفاده قرار می‌گیرند را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱- پلیمرهای سنتز شده مانند پلی‌آمیدها، پلی‌سولفون‌ها، لاستیک‌های سیلیکونی و پرفلوروپلیمرها که جزء مهم‌ترین مواد پلیمری سنتز شده برای ساخت غشاها می‌باشند [۳]. جدول ۱-۲ برخی از پلیمرهای متداول را نشان می‌دهد که برای ساخت غشاها از آنها استفاده می‌شود.

۲- مواد طبیعی سنتز شده مانند مواد بر پایه سلولز

۳- مواد مختلف دیگر مانند مواد معدنی، سرامیک‌ها و فلزات

با توجه به نوع فرآیند عملیاتی و هزینه‌های سرمایه گذاری، می‌توان ماده مناسب برای ساخت غشا فرآیند مورد نظر را انتخاب کرد.

جدول(۱-۲): پلیمر های متداولی که برای ساخت غشاها مورد استفاده قرار می‌گیرند

جنس پلیمر	فرآیند جداسازی غشایی
سلولز نیترات و استات، پلی‌پروپیلن،پلی کربنات، پلی‌اترایمید، پلی‌وینیلیدن‌فلوراید، پلی‌تترا فلوراتیلن	میکروفیلتراسیون
سلولزاستات، پلی‌آمید، پلی‌سولفون و اترسولفون، پلی‌اترایمید، پلی‌اکریلونیتریل، پلی‌وینیلیدن‌فلوراید	اولترافیلتراسیون
پلی‌آمید، سلولزاستات، پلی‌وینیل‌الکل، پلی‌آمید–ایمید	اسمز معکوس
سلولزاستات، پلی‌ایمید، پلی‌سولفون	جداسازی گاز
فلوروکربن،پلی‌اورتان، پلی‌وینیل الکل، پلی‌اکریلات	تبخیر غشایی
پلی کربنات، پلی‌سولفون و اترسولفون، سلولزاستات	دیالیز

۱-۴- ساختار غشاها

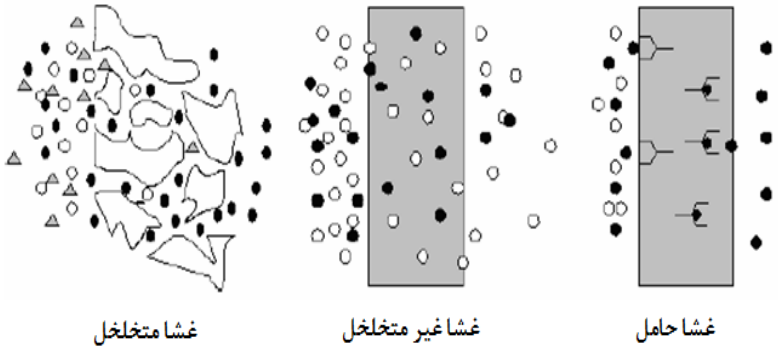
مواد گوناگونی را می‌توان برای ساخت غشاها مورد استفاده قرار داد. همچنین می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف این مواد را به غشا تبدیل نمود. نوع روشی که برای ساخت غشا انتخاب می‌گردد به نوع ماده مورد استفاده و نوع ساختاری که مورد نظر ماست، وابسته می‌باشد. همچنین نوع ماده و روشی که برای ساخت غشا در نظر گرفته می‌شود موجب می‌گردد تا ساختارهای متفاوتی برای غشا ایجاد گردد. در هنگام تقسیم بندی انواع غشاها به دلیل تفاوت در ساختار آنها، الگوهای متفاوتی در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس در مراجع و مقالات مختلف اسامی متفاوتی برای غشاها از لحاظ ساختاری مانند غشا متخلخل یا غیرمتخلخل، غشا متقارن یا غیرمتقارن و غیره دیده می‌شود. برای مجزا نمودن این ساختارها و جلوگیری از وجود ابهام در هنگام تشخیص ساختارها، اصلی‌ترین دیدگاه‌ها مطرح شده و به توضیح آن پرداخته می‌شود.

۱-۴-۱- ساختار غشاها از لحاظ وجود یا عدم وجود حفره

اگر بخواهیم غشاها را بر اساس معیارِ ساختار و اصول جداسازی طبقه‌بندی کنیم، می‌توان سه ساختار زیر را برای غشاها در نظر گرفت:

۱- غشاهای متخلخل[1]
۲- غشاهای غیر متخلخل[2]
۳- غشاهای حامل[3]

لازم به ذکر است که تقسیم بندی فوق، تمام غشاها و ساختارهای غشایی موجود را شامل نمی‌شود و فقط به دلیل راحتی در درک اصول کلی جداسازی بیان شده است. عموماً همه غشاها ساختار مشخصی دارند و یکی از این حالت‌ها را شامل می‌شوند اما بعضی غشاها همانند غشاهای اسمز معکوس حالتی میانی دارند؛ به این معنی که نه دارای خلل و فرج چندان مشخصی می‌باشند و نه کاملاً عاری از حفره می‌باشند. در شکل ۱-۲ این سه نوع ساختار غشا نشان داده شده‌اند [۴]. وقتی غشاهای جداسازی گاز یا تراوش تبخیری[4] را جزء دسته غشاهای غیر متخلخل بر می‌شماریم، این به آن معنی نیست که این غشاها لزوماً هیچ حفره‌ای ندارند؛ بلکه به دلایل مختلفی که به شرایط ساخت غشا مربوط می‌شود، اندازه حفره‌های این غشاها در مقایسه با غشاهای متخلخل خیلی کوچک‌تر می‌باشند. به طور کلی بحث تخلخل و یا عدم تخلخل غشاها مربوط به غشاهای پلیمری می‌گردد [۴].



شکل(۱-۲) : ساختار غشا از لحاظ وجود یا عدم وجود حفره [۴]

1- Porous Membranes
2- Non-porous Membranes
3- Carrier Membranes
4- Pervaporation